

06.2;12

Пассивация поверхности кремния диэлектрическими пленками из оксида эрбия

© М.А. Родионов, В.А. Рожков

Самарский государственный университет
E-mail: rozhkov@ssu.samara.ru

Поступило в Редакцию 27 июля 2004 г.
В окончательной редакции 17 сентября 2004 г.

Исследованы рекомбинационные свойства кремния, пассивированного диэлектрическими пленками из оксида эрбия. Установлено, что после нанесения пленок оксида эрбия эффективное время жизни неравновесных носителей заряда, измеренное методом релаксации нестационарной фотопроводимости, возрастает в 2–3 раза. Определены величины скорости поверхностной рекомбинации на границе раздела кремний–оксид эрбия и показана перспективность применения диэлектрических пленок из оксида эрбия в качестве пассивирующих покрытий кремниевых приборов и элементов интегральных схем.

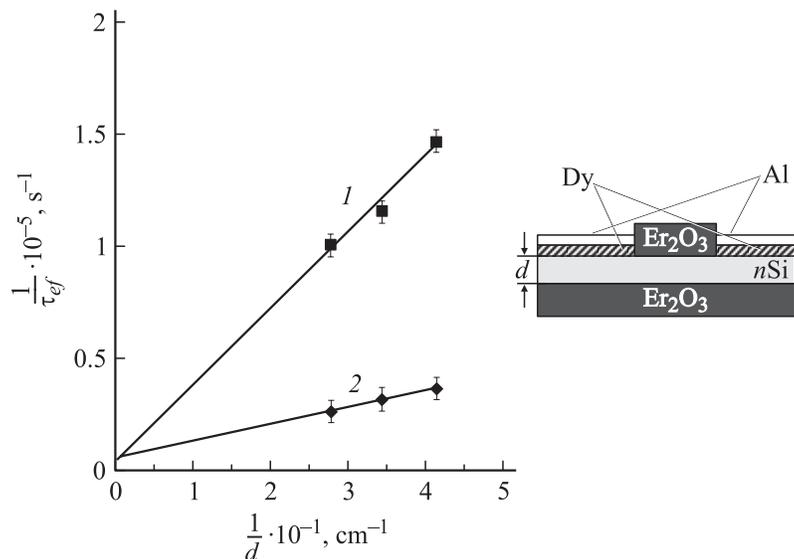
Среди материалов, перспективных для использования в качестве просветляющих покрытий кремниевых фотоэлектрических приборов, выгодно выделяются оксиды редкоземельных элементов (ОРЗЭ), которые обладают высокой прозрачностью в рабочей области спектра, химической и термической стойкостью и имеют оптимальный для этих целей показатель преломления. Проведенные исследования [1,2] показали, что нанесение на поверхность кремния пленки ОРЗЭ позволяет уменьшить спектральный коэффициент отражения света от кремниевой поверхности до 0.01–1.2% и увеличить спектральное значение фототока короткого замыкания кремниевого фотоэлектрического преобразователя более чем на 50%.

Важным требованием, предъявляемым к оптическим покрытиям полупроводниковых приборов, является возможность получения границы раздела с полупроводником, обладающей низкими рекомбинационными потерями. В [3] исследованы пассивирующие свойства пленок оксидов церия, европия, диспрозия, самария, иттрия, гадолиния и иттербия, изготовленных методом термического окисления пленок редкоземель-

ных элементов на воздухе при температуре 673 К в течение 30 min и показано уменьшение величины скорости поверхностной рекомбинации в кремнии при нанесении пленок из оксидов редкоземельных элементов. Зависимости времени жизни неравновесных носителей заряда в кремнии от температуры изготовления пассивирующих пленок оксидов иттрия, диспрозия и гадолиния представлены в [4]. Двухслойные диэлектрические пленки из оксида иттербия и оксида диспрозия также перспективны для пассивации поверхности кремния и приборов на его основе [5]. Однако рекомбинационные характеристики кремния, покрытого пленкой оксида эрбия, до настоящего времени не изучены. В этой связи в настоящей работе исследовались эффективное время жизни и скорость поверхностной рекомбинации неравновесных носителей заряда в пластинах кремния, пассивированных пленками из оксида эрбия.

Исследуемые образцы вырезались из полированных пластин монокристаллического кремния марки КЭФ-20 с ориентацией поверхности (100) и имели характерные размеры $10 \times 5 \times 0.36$ mm. Перед изготовлением пленок оксида эрбия часть кремниевых пластин проходила ультразвуковую мойку в ацетоне в течение 10 min, другая часть образцов для снятия естественного окисла подвергалась химической обработке путем их травления в водном растворе плавиковой кислоты состава $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ (1:10). В некоторых случаях после этой обработки образцы кипятились в перекисно-аммиачном растворе (ПАР) следующего состава: $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (1:1:3). После каждой обработки образцы многократно промывались в бидистиллированной воде и сушились на фильтре. Пленки оксида эрбия изготавливались на обеих поверхностях кремниевой пластины методом термического окисления на воздухе при температуре 600°C в течение 40 min предварительно нанесенного слоя редкоземельного металла. Напыление металлической пленки эрбия проводилось путем термического распыления из молибденовой лодочки в вакууме $(2-3) \cdot 10^{-5}$ Torr на установке ВУП-5. В качестве омических контактов использовались слои диспрозия и алюминия, последовательно нанесенные на кремниевые образцы через трафарет методом термического распыления в вакууме. Эскиз исследуемой структуры представлен в виде врезки к рисунку.

Для измерения эффективного времени жизни τ_{ef} использовался широко применяемый метод релаксации нестационарной фотопроводимости при освещении образца прямоугольными импульсами света. Подробно методика проведения измерений и измерительная установка



Зависимость эффективного времени жизни неравновесных носителей заряда от толщины кремниевой подложки с реальными (1) и пассивированными (2) поверхностями пленки из Er_2O_3 .

описаны в [6]. Как выяснилось, весь процесс релаксации фотопроводимости исследуемых образцов характеризуется единственным экспоненциальным законом с одной постоянной времени релаксации и определяется лишь генерационно-рекомбинационными процессами, а захватом неравновесных носителей заряда на границе раздела кремний–ОРЗЭ можно пренебречь. В этом случае для эффективного времени жизни тонких образцов при сравнительно малой скорости поверхностной рекомбинации справедливо соотношение [7]:

$$\frac{1}{\tau_{ef}} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{2S}{d},$$

где τ_0 — время жизни неравновесных носителей заряда в объеме полупроводника, d — толщина полупроводника, S — скорость поверхностной рекомбинации. Эта формула позволяет найти значение скорости поверхностной рекомбинации, если известно объемное время жизни.

Вид обработки поверхности кремния	$\tau_{ef}, \mu s$		$S, cm/s$	
	Без пленки Er_2O_3	С пленкой Er_2O_3	Без пленки Er_2O_3	С пленкой Er_2O_3
Ультразвуковая мойка	10–12	25–30	1500–1800	600–720
HF: H ₂ O	8–10	20–25	1800–2250	720–900
HF: H ₂ O + ПАР	10–12	31–38	1500–1800	470–580

Для определения объемного времени жизни использовалась зависимость эффективного времени жизни неравновесных носителей заряда от толщины полупроводникового образца. На рисунке представлена указанная зависимость, полученная из измерений τ_{ef} , для образцов разной толщины, которые изготавливались путем травления кремния в травителе СР-8. Экспериментальные значения хорошо укладываются на прямую в координатах $1/\tau_{ef}$ от $1/d$. Данный результат свидетельствует о постоянстве скорости поверхностной рекомбинации для образцов разной толщины. Оценка объемного времени жизни, проведенная из экспериментальных зависимостей, дает значения $\tau_0 \geq 200 \mu s$ для всех исследованных образцов.

Определение величины скорости поверхностной рекомбинации проводилось из измерений эффективного времени жизни. Так как измеренные величины эффективного времени жизни не превышали $38 \mu s$ и выполнялось неравенство $1/\tau_{ef} \gg 1/\tau_0$, то в выражении для скорости поверхностной рекомбинации величиной $1/\tau_0$ пренебрегали. В таблице представлены полученные значения скорости поверхностной рекомбинации и эффективного времени жизни неравновесных носителей заряда в кремниевых образцах, прошедших различную обработку, с реальными и пассивированными пленками оксида эрбия поверхностями кремния.

Приведенные результаты свидетельствуют об увеличении значений эффективного времени жизни неравновесных носителей заряда и уменьшении величин скорости поверхностной рекомбинации при нанесении пленок оксида эрбия. Сравнение полученных рекомбинационных характеристик показывает, что скорость поверхностной рекомбинации в системе Si–Er₂O₃ на 1–2 порядка меньше аналогичного параметра в широко применяемых в полупроводниковой электронике структурах Si–SiO₂ и Si–SiO₂–Si₃N₄ [8,9].

Таким образом, проведенные исследования показывают высокую эффективность и перспективность использования диэлектрических пленок оксида эрбия в качестве пассивирующих покрытий кремниевых полупроводниковых приборов и элементов интегральных схем.

Список литературы

- [1] Аношин Ю.А., Петров А.И., Рожков В.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 10. С. 54–58.
- [2] Рожков В.А., Петров А.И. // Изв. вузов. Физика. 1994. № 7. С. 99–104.
- [3] Петров А.И., Рожков В.А. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 7. С. 16–21.
- [4] Рожков В.А., Петров А.И. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 1999. Т. 2. № 3–4. С. 69–70.
- [5] Родионов М.А., Рожков В.А., Пашин А.В. // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. В. 12. С. 56–61.
- [6] Рожков В.А., Родионов М.А. // Тез. докл. II Междунар. науч.-техн. конф. „Физика и технические приложения волновых процессов“. Самара, 2003. С. 358–361.
- [7] Ржанов А.В. Электронные процессы на поверхности полупроводников. М.: Наука, 1971. 480 с.
- [8] Литовченко В.Г., Горбань А.П. Основы физики микроэлектронных систем металл–диэлектрик–полупроводник. Киев: Наук. думка, 1978. 316 с.
- [9] Саченко А.В., Новоминский Б.А., Калшабеков А.С. // Тез. докл. XII Всесоюз. науч. конф. по микроэлектронике. Ч. 3. Тбилиси, 1987. С. 143.